УДК 665.73

ВЛИЯНИЕ БЕНЗОЛА НА ПОВЕДЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ДИИЗОПРОПИЛОВОГО ЭФИРА

Сафаров М. М., Хакимов Д. Ш., Неъматов А.,
Давлатов Р. Дж., Раджабов А. Р.
Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе
Институт энергетики Таджикистана, г. Курган-тюбе
Таджикский государственный педагогический
университет им. С. Айни, г. Душанбе
E-mail: mahmad1 @list.ru

Для приготовления растворов нами использованы чистый бензол марки х. ч. (99,96 %) и чистый диизопропиловый эфир х. ч. (99,97 %) [8, 9]. Основные физико-химические свойства компонентов растворов приведены ниже. Бензол – это бесцветная жидкость со своеобразным резким запахом химическая формула которого – C_6H_6, молярная масса – 78,11 г/моль, плотность – 878,6 кг/м³, динамическая вязкость – 0,0652 Па·с, температура плавления = 5,5 °С, температура кипения = 80,1 °С, растворимость в воде 1,79 г/л (при 25 °С)., $T_{всп.}$ = −11 °С, $T_{свспл.}$ = 562 °С.

Подобно ненасыщенным углеводородам бензол горит сильно коптящим пламенем. С воздухом образует взрывоопасные смеси, хорошо смешивается с эфиром, бензином и другими органическими растворителями, с водой образует азеотропную смесь с температурой кипения 69,25 °С (91 % бензола).

Химические свойства. Растворимость в воде = 0,073 г/100 мл.

Для бензола характерны реакции замещения – бензол реагирует с алкенами, хлоралкенами, галогенами, азотной и серной кислотами. Реакции разрыва бензельного кольца проходят в жёстких условиях (определенная температура, давление).

Взаимодействие с хлором и бромом в присутствии катализатора с образованием хлорбензола (реакция электрофильного замещения) имеет следующий вид: **($C_6H_6 + CI_2 \rightarrow FeC_6H_6CI + HCI$).**

Бензол (**C_6H_6**, **PhH**) – органическое химическое соединение, бесцветная жидкость со специфическим сладковатым запахом [8, 9]. Простейший ароматический углеводород. Бензол входит в состав бензина, широко применяется в промышленности, является исходным сырьём для производства лекарств, раз-

личных пластмасс, синтетической резины, красителей. Хотя бензол входит в состав сырой нефти, в промышленных масштабах он синтезируется из других её компонентов.

Значительную часть получаемого бензола используют для синтеза других продуктов:

– около 50 % бензола превращают в этилбензол (алкилирование бензола этиленом);

– около 25 % бензола превращают в кумол (алкилирование бензола пропиленом);

– приблизительно 10-15 % бензола гидрируют в циклогексан;

– около 10 % бензола расходуют на производство нитробензола;

– 2-3 % бензола превращают в линейные алкилбензолы;

– приблизительно 1 % бензола используется для синтеза хлорбензола.

В существенно меньших количествах бензол используют для синтеза некоторых других соединений. Изредка и в крайних случаях, из-за высокой токсичности, бензол используют в качестве растворителя. Кроме того, бензол входит в состав бензина. Ввиду высокой токсичности содержание бензола в топливе ограничено современными стандартами введением до 1 %.

Бензол – это горючая жидкость и в производстве используется как растворитель для чистки красок и лаков.

Диизопропиловый эфир (изопропиловый эфир) $(CH_3)_2CHOCH(CH_3)_2$, мол. масса 102,17; жидкость с эфирным запахом; $T_{пл.}$ = –86,2°С, $T_{кип.}$ = 68,5°С; d_4^{20} = 724,1кг/м^3; n_D^{20} = 1,3679; $t_{кр.}$ = 228°С, $p_{кр.}$ = 2,84 МПа; $\Delta H^0_{пл}$ = 108,4 кДж/кг, $\Delta H_{исп}$ = 313,7 кДж/кг (при 20 °С); α = 17 мН/м, η = 0,37 Па.с; $T_{всп.}$ = –28°С, $T_{самовоспл}$ = 443°С, давление насыщенных паров P = 17,5 кПа, растворяется в органических растворителях [5, 6] Образует азеотропную смесь с водой ($T_{кип.}$ = 62,2°С,95,5 % диизопропилового эфира). По химическим свойствам диизопропиловый эфир – типичный представитель простых эфиров. Получают диизопропиловый эфир из изопропанола (взаимодействием с пропиленом или дегидратацией) и как побочный продукт при производстве изопропанола гидратацией пропилена. Определение диизопропилового эфира в воздухе основано на его цветной реакции с 4-диметиламино-бензальдегидом. Диизопропиловый эфир применяют: как растворитель животных жиров, растительных и минеральных масел, природных и синтетических смол; для депарафинизации смазочных масел; как экстрагент, например, для отделения урана от продуктов его деления,

выделения уксусной кислоты из водных растворов; как компонент составов для удаления старых лакокрасочных покрытий.

Получение и применение. Диизопропиловый эфир получают непосредственно из пропилена и воды в присутствии серной кислоты – этерификация пропилена водой, а также дегидратацией изопропилового спирта серной кислотой:

Диизопропиловый эфир применяют в следующих целях: растворение животных жиров; растворение растительных и минеральных масел; растворение природных и синтетических смол; депарафинизация смазочных масел; экстракция для отделения урана от продуктов его деления; выделение уксусной кислоты из водных растворов; повышение октанового числа бензинов (антидетонатор).

Для исследования теплоёмкости и плотности раствора (диизопропиловый эфир + бензол) готовили образцы со следующим соотношением (таблица 1) составляющих:

Таблица 1 – Зависимость теплоёмкости (C_p, Дж/ (кг* К)) растворов системы диизопропилового эфира от концентрации бензола

c, %	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
$C_{p\ экс}$	2112	2069,25	2026,5	1983,75	1941	1898,25	1855,5	1812,75	1770	1728,25	1684,5
$C_{p\ рас}$	2112	2069,25	2026,5	1983,75	1941	1898,25	1855,5	1812,75	1770	1728,25	1684,5
Δ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Общая среднеарифметическая погрешность расчета по формуле (1) равна ~(0)%											

Образец № 1 – (100 % $C_6H_{14}O$); Образец № 2 – (10 % $C_6H_{14}O$ + 90 % C_6H_6); Образец № 3 – (20 % $C_6H_{14}O$ + 80 % C_6H_6); Образец № 4 – (30 % $C_6H_{14}O$ + 70 % C_6H_6); Образец № 5 – (40 % $C_6H_{14}O$ + 60 % C_6H_6); Образец № 6 – (50 % $C_6H_{14}O$ + 50 % C_6H_6); Образец № 7 – (60 % $C_6H_{14}O$ + 40 % C_6H_6); Образец № 8 – (70 % $C_6H_{14}O$ + 30 % C_6H_6); Образец № 9 – (80 % $C_6H_{14}O$ + 20 % C_6H_6); Образец № 10 – (90 % $C_6H_{14}O$ + 10 % C_6H_6); Образец № 11 – (100 % C_6H_6).

Для измерения теплоемкости исследуемых растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре нами использован метод *с*-калориметра. Общая относительная погрешность измерения растворов при доверительной вероятности α = 0,95 равна 3,5 % [1,2]. Для убеждения в достоверности полученных данных по теплоемкости на экспериментальных установках проведены контрольные измерения. В качестве контрольных образцов использованы вода и толуол [1, 2]. Результаты контрольных измерений теплоемкости в

переделе погрешности опыта совпадают с литературными данными.

Используя значения таблицы 1, нами построены график зависимости теплоёмкости исследуемых растворов от концентрации бензола (рис. 1).

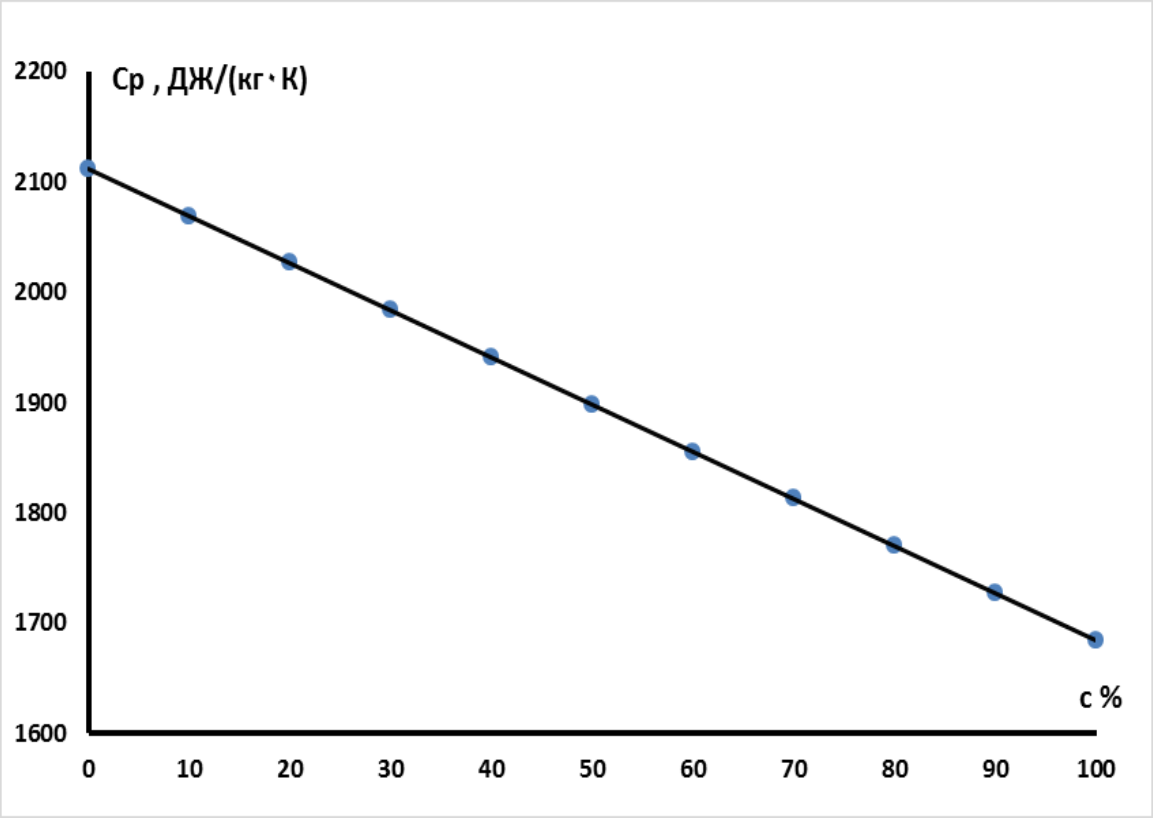


Рисунок 1 – Зависимость теплоёмкости исследуемых образцов от концентрации бензола

Как видно из таблицы 1 и рисунка 1, теплоёмкость системы (диизо-пропиловый эфир + бензол) с ростом концентрации бензола увеличивается по линейному закону. Используя метод наименьших квадратов или программу Exsel нами для прямой лини, приведенной на рисунке 1 получено следующее эмпирическое уравнение, Дж/(кг·К):

$$C_p = -4{,}275c + 2112, \qquad (1)$$

Для достоверности полученных экспериментальных и расчетных данных по уравнению (1) нами была рассчитана концентрационная зависимость (табл. 1) теплоёмкости исследуемых растворов. Результаты сравнения теплоёмкости по формуле (1) показаны в таблице 1.

Результаты экспериментального исследования плотности растворов приведены в таблице 2 и графически изображены на рисунке 2.

Таблица 2 – Экспериментальные значения плотности (ρ) исследуемых растворов от концетрации бензола

c %	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
ρ, кг/м^3 экс	734,0	745,6	761,2	774,0	790,4	806,0	818,0	836,0	852,8	864,0	886,0
ρ, кг/м^3 рас	730,73	745,82	760,912	776,003	791,094	806,185	821,275	836,367	851,458	866,549	881,64
Δ, %	–0,45	0,03	–0,04	0,3	0,09	0,03	0,4	0,04	–0,16	0,29	–0,49
Общая среднеарифметическая погрешность расчета по формуле (2) равна ~0,04%											

Образец № 1 – (100 % $C_6H_{14}O$); Образец № 2 – (10 % $C_6H_{14}O$ + 90 % C_6H_6); Образец № 3 – (20 % $C_6H_{14}O$ + 80 % C_6H_6); Образец № 4 – (30 % $C_6H_{14}O$ + 70 % C_6H_6); Образец № 5 – (40 % $C_6H_{14}O$ + 60 % C_6H_6); Образец № 6 – (50 % $C_6H_{14}O$ + 50 % C_6H_6); Образец № 7 – (60 % $C_6H_{14}O$ + 40 % C_6H_6); Образец № 8 – (70 % $C_6H_{14}O$ + 30 % C_6H_6); Образец № 9 – (80 % $C_6H_{14}O$ + 20 % C_6H_6); Образец № 10 – (90 % $C_6H_{14}O$ + 10 % C_6H_6); Образец № 11 – (100 % C_6H_6).

Для измерения плотности исследуемых растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре нами использован пикнометрический метод (объем пикнометра равнен 25 мл) и денсиметр. Общая относительная погрешность измерения плотности растворов при доверительной вероятности α=0,95 равна 0,005% [1,2]. Надо отметить, что подобная работа нами выполнена и опубликована в источниках [3-5].

Согласно значениям таблицы 2 и графику, приведенному на рисунке 2, с увеличением концентрации бензола плотность в растворе растет по линейному закону. Уравнение этой прямой линии на рисунке 2, имеет вид:

$$\rho = 1{,}5091c + 730{,}73. \qquad (2)$$

Для обобщения экспериментальных данных по теплоёмкости и плотности исследуемых образцов исползовали следующую функцио-нальныую зависимость:

$$C_p = f(\rho) \qquad (3)$$

Используя корреляционную функцию (3) и значения таблицы 3 нами построен график, приведённый на рисунке 3.

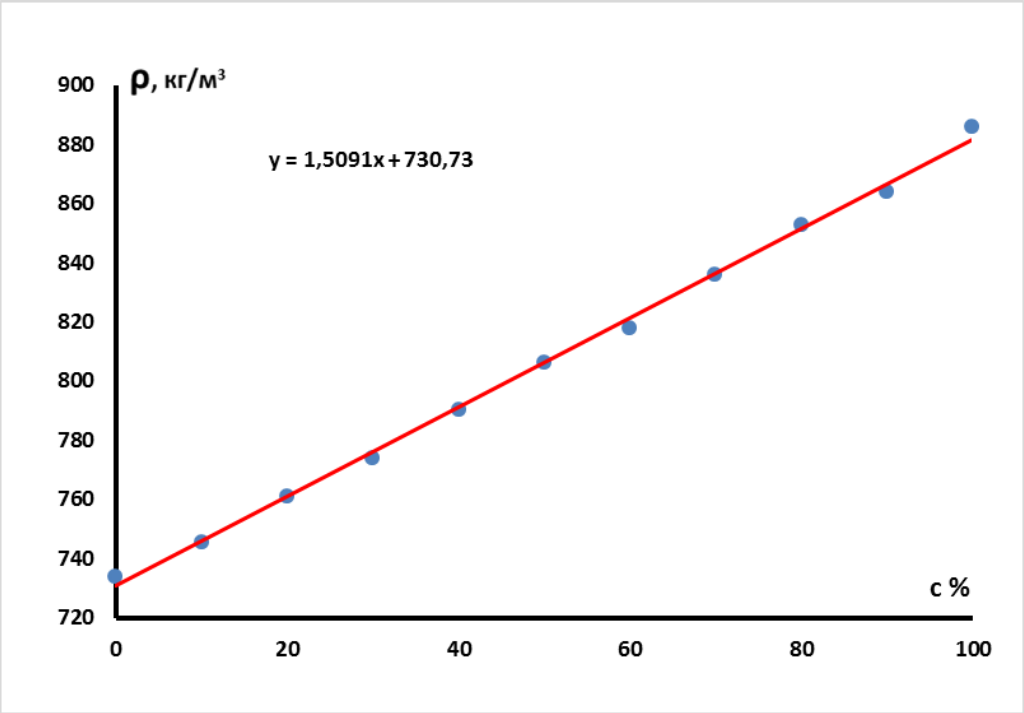


Рисунок 2 – Зависимость плотности растворов системы (диизопропиловый эфир + бензол) от концентрации бензола

Таблица 3 – Зависимость теплоёмкости исследуемых растворов от плотности

c%		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
ρ, кг/м^3		734,0	745,6	761,2	774,0	790,4	806,0	818,0	836,0	852,8	864,0	886,0
C_p	экс	2112	2069,25	2026,5	1983,75	1941	1898,25	1855,5	1812,75	1770	1728,25	1684,5
	рас	2102,32	2069,53	2025,44	1989,25	1942,89	1898,8	1864,88	1813,99	1766,5	1734,84	1672,65
Δ, %		–0,46	0,014	–0,05	0,28	0,09	0,03	0,5	0,07	–0,2	0,44	–0,71
Общая среднеарифметическая погрешность расчета по формуле равна ~(0,004)%												

Образец № 1 – (100 % $C_6H_{14}O$); Образец № 2 – (10 % $C_6H_{14}O$ + 90 % C_6H_6); Образец № 3 – (20 % $C_6H_{14}O$ + 80 % C_6H_6); Образец № 4 – (30 % $C_6H_{14}O$ +70 % C_6H_6); Образец № 5 – (40 % $C_6H_{14}O$ + 60 % C_6H_6); Образец № 6 – (50 % $C_6H_{14}O$ + 50 % C_6H_6); Образец № 7 – (60 % $C_6H_{14}O$ + 40 % C_6H_6); Образец № 8 – (70 % $C_6H_{14}O$ + 30 % C_6H_6); Образец № 9 – (80 % $C_6H_{14}O$ + 20 % C_6H_6); Образец № 10 – (90 % $C_6H_{14}O$ +10 % C_6H_6); Образец № 11 – (100 % C_6H_6).

Результаты экспериментального определения теплоёмкости образцов показали,что она зависит от плотности. Как видно, из таблицы 3, с ростом плотности теплоемкость исследуемых образцов уменьшается по линейному закону.

Как видно из рисунка 3, с увеличением плотности в исследуемых растворах уменьшение теплоёмкости имеет прямую линию.

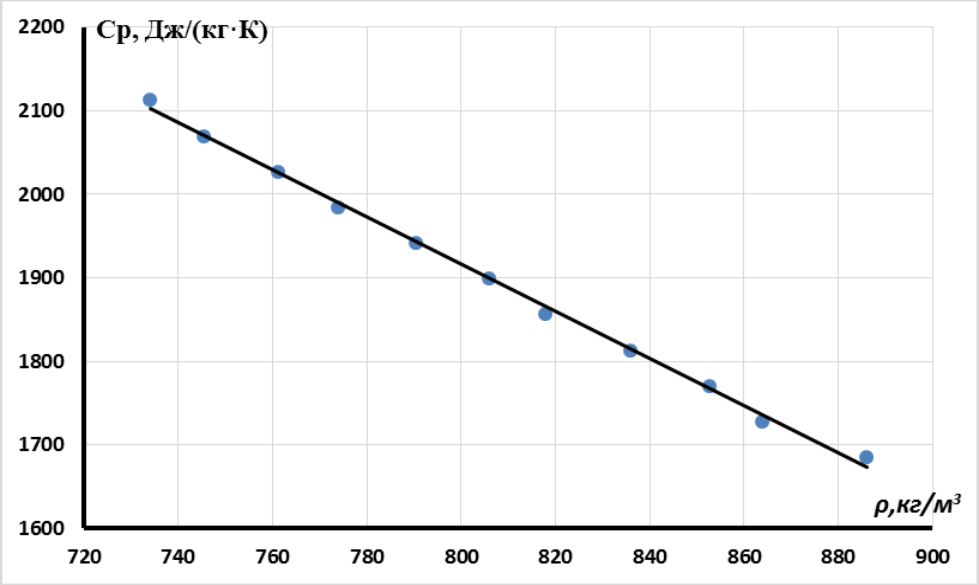


Рисунок 3 – Зависимость теплоёмкости исследуемых растворов системы (диизопропиловый эфир + бензол) от плотности

Для получения взаимосвязи экспериментальных данных по теплоёмкости и плотности исследуемых растворов нами использована следующая функциональная зависимость [1, 2]:

$$\frac{C_p}{C_{p_1}} = f\left(\frac{\rho}{\rho_1}\right), \quad (4)$$

где C_p – теплоёмкость растворов при различных концентрациях, C_{p1} – теплоёмкость исследуемых растворов при плотности ρ, ρ_1 – плотность в растворах при атмосферном давлении и комнатной температуре, ρ_1 – плотность образца с одинаковой концентрацией составных компонентов растворителя при атмосферном давлении и комнатной температуре.

Выпольнимость выражения (3) графически показана на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, зависимость относительной теплоёмкости растворов от относительной плотности имеет прямолинейный характер.

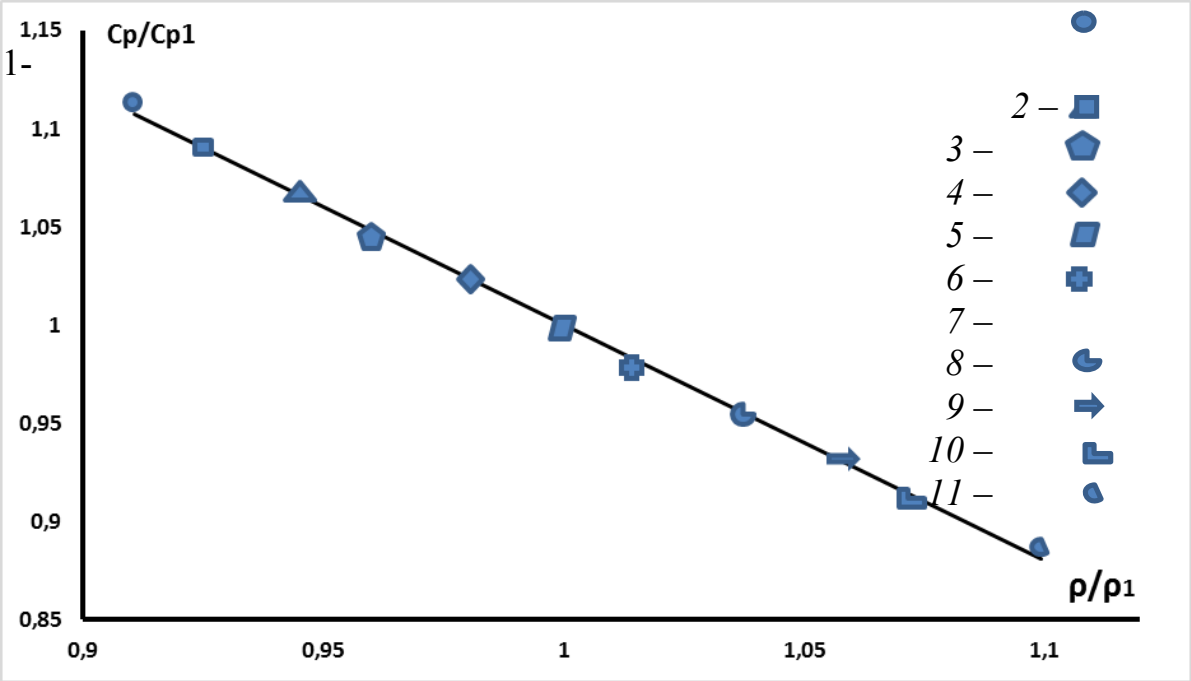
Прямая линия, приведенная на рисунке 4 описывается выражением [3, 4]:

$$\frac{C_p}{C_{p_1}} = \left[-1{,}2001\left(\frac{\rho}{\rho_1}\right) + 2{,},2003\right], \quad (5)$$

где, $\rho_1 = 806$; $C_{p_1} = 1898{,}25$ Дж/кг*К

Отсюда,

$$\frac{C_p}{C_{p_1}} = \left[-1{,}2001\left(\frac{\rho}{\rho_1}\right) + 2{,},2003\right] \; C_{p_1} \quad (6)$$



1 – (100 % $C_6H_{14}O$); *2* – (10 % $C_6H_{14}O$ + 90 % C_6H_6); *3* – (20 % $C_6H_{14}O$ + 80 % C_6H_6); *4* – (30 % $C_6H_{14}O$ + 70 % C_6H_6); *5* – (40 % $C_6H_{14}O$ + 60 % C_6H_6); *6* – (50 % $C_6H_{14}O$ + 50 % C_6H_6); *7* – (60 % $C_6H_{14}O$ + 40 % C_6H_6); *8* – (70 % $C_6H_{14}O$ + 30 % C_6H_6); *9* – (80 % $C_6H_{14}O$ + 20 % C_6H_6); *10* – (90 % $C_6H_{14}O$ + 10 % C_6H_6); *11* – (100 % C_6H_6)

Рисунок 4 – Зависимость относительной теплоёмкости $(\frac{Cp}{Cp_1})$ исследуемых образцов от относительной плотности $(\frac{\rho}{\rho_1})$ растворов:

Из уравнение (6) с учетом значение λ_1 получим:

$$\frac{Cp}{Cp_1} = \left[-2278{,}0898\left(\frac{\rho}{\rho_1}\right) + 4176{,}7194\right] \quad . \qquad (7)$$

Результаты расчета и сопоставления теплоёмкости исследуемых растворов по формуле (7) представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение вычисленных значений теплоёмкости (C_p, Дж/ (кг·К)) системы (диизопропиловый эфир + бензол) при комнатной температуре и атмосферном давлении

c %	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
$C_{p\,экс}$	2112	2069,25	2026,5	1983,75	1941	1898,25	1855,5	1812,75	1770	1728,25	1684,5
C_{ppac}	2102,13	2069,48	2025,29	989,09	1942,82	1898,63	1864,71	1813,84	1766,5	1734,7	1672,53
Δ,%	–0,47	0,011	–0,059	0,27	0,09	0,012	0,49	0,06	–0,2	0,43	–0,715
Общая среднеарифметическая погрешность расчета по формуле (3) равна ~(−0,081)%											

Как видно из таблицы 4 с помощью выражения (7), можно вычислить концентрационную зависимость теплоёмкости растворов системы (диизо-пропиловый эфир и бензол) с среднеквадратической погрешностью ~(−0,081)% (табл. 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сафаров, М. М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления [Текст] : дисс. … д-ра техн. наук / Махмадали Махмадиевич Сафаров. – Душанбе, 1993. – 495 с.

2 Зарипова, М. А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях [Текст] : дисс. … д-ра техн. наук / Мохира Абдусаломовна Зарипова. – Душанбе, 2016. – 517 с.

3 Теплофизические свойства некоторых наноуглеродных материалов [Текст] / М. М. Сафаров, Х. Х. Назаров, А. С. Назруллоев и др. // Вестник Таджикского национального университета (научный журнал). – Душанбе : Сино, 2016. – № 1/4(216). – С.40-44.

4 Взаимосвязь теплопроводности и коэффициента массоотдачи иридиевых катализаторов на основе гранулированной пористой окиси алюминия [Текст] / М. М. Сафаров, Х. Х. Назаров, С. С. Абдуназаров и др. // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал). – Душанбе : Сино, 2016. – № 1/4(216). – С.56-61.

5 Хвостов В. Х. Исп. литература для статьи «диизопропиловый эфир»: Ullmanns Encyclopadie, 4 Aufl., Bd 8, Weinheim / В.Х. Хвостов. – 1974. – P. 146-57.

6 Даффа-Меди // Химическая энциклопедия / И. Л. Кнунянц [и др.]. – М. : Советская энциклопедия, 1990. – т. 2. – 671 с.